



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 46 620 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 29/861**

⑳ Aktenzeichen: 197 46 620.6  
㉔ Anmeldetag: 22. 10. 97  
㉕ Offenlegungstag: 6. 5. 99

**DE 197 46 620 A 1**

㉑ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

㉒ Erfinder:  
Keller, Wolfgang, Dipl.-Phys. Dr., 81739 München, DE

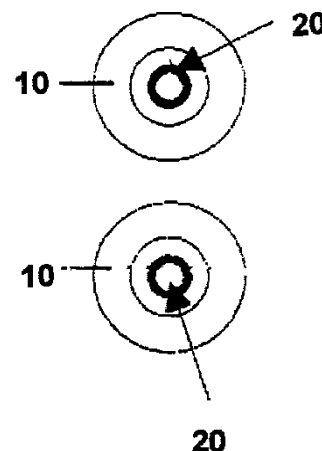
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
WO 95 22 842 A1  
"THE BREAKDOWN VOLTAGE OF NEGATIVE  
CURVATURED  
p<sup>+</sup>n DIODES USING A SOI LAYER", Solid-State  
Electronics, Vol. 41, No. 5, pp 787-788, 1997;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Halbleiterdiode

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Halbleiterdiode mit zwei Elektroden, die Kathode (20) und Anode (10) bilden. Diese Halbleiterdiode zeichnet sich dadurch aus, daß mindestens eine der Elektroden gekrümmt ist, und daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 20% des Produkts aus der Breite der anderen Elektrode und der inneren Randlänge der gekrümmten Elektrode beträgt.  
Die Erfindung sieht ferner vor, eine elektrische Schaltung so aufzubauen, daß sie eine Halbleiterdiode enthält, wobei die Halbleiterdiode zwei Elektroden enthält, die Kathode (20) und Anode (10) bilden, und sich dadurch auszeichnet, daß mindestens eine der Elektroden gekrümmt ist, und daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 20% des Produkts aus der Breite der anderen Elektrode und der inneren Randlänge der gekrümmten Elektrode beträgt.



**DE 197 46 620 A 1**



Die Erfindung betrifft eine Halbleiterdiode mit zwei Elektroden, die Kathode und Anode bilden.

Die Erfindung betrifft ferner eine elektrische Schaltung, die wenigstens eine Halbleiterdiode mit zwei Elektroden, die Kathode und Anode bilden, enthält.

Dioden sind unsymmetrisch aufgebaute Zweipole, deren Widerstand von der Polarität und der Größe der angelegten Spannung abhängt. Dioden bestehen aus zwei unterschiedlichen Werkstoffen, von denen wenigstens ein Werkstoff ein Halbleiter ist. Bei den unterschiedlichen Werkstoffen kann es sich um einen Halbleiter und ein Metall handeln, oder um einen Halbleiter mit unterschiedlich dotierten Bereichen. Meistens bestehen die unterschiedlich dotierten Bereiche aus p- und n-dotierten Bereichen des gleichen Halbleiters.

Als Dioden sind bekannt: Schottdioden, Schottkydioden, Gleichrichterioden, Zenerdioden, Diacs, Fotodioden, Kapazitätsdioden, pin-Dioden, Step-Recovery-Dioden, Tunnelioden, Backward-Dioden.

Es ist bekannt, daß die Kapazität zwischen den Elektroden untereinander sowie zwischen den einzelnen Elektroden und dem Substrat auf dem sie angeordnet sind, durch zwei verschiedene Mechanismen bewirkt wird. Hierbei handelt es sich um die Sperrschichtkapazität und um die Diffusionskapazität.

Die Sperrschichtkapazität kommt dadurch zustande, daß bei einem in Sperrichtung vorgespannten pn-Übergang nur ein geringer Sättigungsstrom fließt. Außerdem ist eine Raumladung vorhanden. Das bedeutet, daß eine in Sperrichtung gepolte Diode wie ein verlustbehafteter Kondensator wirkt. Mit zunehmender Sperrspannung verbreitert sich die Sperrschicht. Dies bedeutet, daß die Ladungsträgerverarmung am pn-Übergang zunimmt. Hieraus folgt, daß die Sperrschichtkapazität  $C_s$  mit zunehmender Sperrspannung  $U_r$  abnimmt. Bei der Sperrspannung  $U_r = 0$  hat die Sperrschichtkapazität  $C_s$  ihren größten Wert. Für die maximale Sperrschichtkapazität  $C_{smax}$  gilt:

$$C_{smax} = C_s(U_r = 0) = C_{s0} = A \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot e}{2|U_d| \cdot \left[\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_D}\right]}}$$

Hierbei ist A die Querschnittsfläche der Sperrschicht und  $\epsilon_r$  die relative Dielektrizitätskonstante. Sie beträgt für Germanium  $\epsilon_{r,Ge} \approx 16$  und für Silizium  $\epsilon_{r,Si} \approx 20$ . Die Abhängigkeit von  $C_s$  als Funktion der Sperrspannung  $U_r$  ist durch die folgende Beziehung näherungsweise gegeben:

$$C_s = \frac{C_{s0}}{\sqrt{1 + \frac{U_r}{U_D}}}$$

Die Diffusionskapazität entspricht einer inneren Trägheit der Diode, die vor allen Dingen durch die Trägheit der Minoritätsladungsträger in den Bahngebieten verursacht wird. Wird die Diode im Durchlaß betrieben, so fließen in den Bahngebieten sowohl Majoritäts- als auch Minoritätssträgerströme. Die Zonen sind zwar in sich elektrisch neutral, aber das Zu- und Abführen der Elektronen bzw. Löcherladungen erfolgt mit getrennten Strömen (Feld- bzw. Diffusionsstrom). Bei kleinen, raschen Veränderungen der Durchlaßspannung wirkt dieser Mechanismus aufgrund seiner Trägheit wie eine Kapazität. Sie wird als Diffusionskapazität  $C_d$  bezeichnet.  $C_d$  ist dem Durchlaßstrom  $I_d$  proportional und beträgt:

$$C_d = \frac{e \cdot A}{2 \cdot U_T \cdot |I_s|} \cdot (L_P + L_N) \cdot \frac{n_A \cdot n_D}{n_A + n_D} \cdot I_d$$

Die Diffusionskapazität spielt bei schnellen Schaltvorgängen, bei denen eine leitende Diode abrupt in den Sperrzustand gebracht wird, eine Rolle. Die gespeicherten Ladungen in den Bahngebieten können dann nur durch Rekombination verschwinden, und die Spannung an der Diode nimmt etwa exponentiell ab.

Aus diesen Gleichungen folgt unmittelbar, daß die gesamte Kapazität zu der Querschnittsfläche der Sperrschicht proportional ist. Aus diesem Grund weisen die bekannten Halbleiterdioden linienförmige Kathodengebiete auf, bei denen die Querschnittsfläche der Sperrschicht minimal ist. Eine darüber hinausgehende Verringerung der Kapazität ist bei den bekannten Dioden nicht möglich. Dies macht sich vor allen Dingen bei ihrer Anwendung mit hochfrequenten Signalen störend bemerkbar.

ESD (Electrostatic Discharge) – Schutzdioden dienen dazu, ein elektronisches Bauteil, beispielsweise einen Feldefekttransistor, oder eine elektrische Schaltung vor einer irreversiblen Schädigung durch eine elektrostatische Entladung zu schützen, ohne die Funktion zu sehr zu beeinträchtigen. Um diese Schutzfunktion zu erfüllen, wird die Schutzdiode zwischen das zu schützende Bauteil oder die zu schützende Schaltung und ein Erdungspotential geschaltet. Da die Schutzdiode in Sperrichtung geschaltet ist, fließt durch sie nur ein kleiner Sperrstrom. Eine möglichst kleine Kapazität der Diode ist erforderlich, um das hochfrequente Signal möglichst wenig zu dämpfen. Die bekannten Dioden sind mit dem Nachteil behaftet, daß ihre Kapazität so hoch ist, daß das Hochfrequenzsignal zu stark gedämpft und verzerrt wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden. Insbesondere soll eine Halbleiterdiode geschaffen werden, bei der eine möglichst kleine Kapazität zwischen den Elektroden sowie zwischen den einzelnen Elektroden und dem Substrat erzielt wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer gattungsgemäßen Halbleiterdiode dadurch gelöst, daß mindestens einem der Elektroden gekrümmt ist, und daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 20% des Produkts aus der Breite der anderen Elektrode und der inneren Randlänge der gekrümmten Elektrode beträgt.



Die Erfindung sieht also vor, anstelle der bekannten gradlinigen Elektroden eine oder mehrere gezielt verformte Elektroden einzusetzen. Diese Verformung erfolgt durch eine Verkrümmung.

Die Erfindung sieht außerdem vor, die andere Elektrode so auszugestalten, daß sie eine gezielt kleinere Fläche als die gekrümmte Elektrode aufweist. Bei der anderen Elektrode kann es sich um die Kathode oder die Anode handeln. Die gekrümmte Elektrode kann dabei durch die Anode oder die Kathode gebildet werden.

Eine besonders zweckmäßige Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 15% des Produkts aus der Breite der anderen Elektrode und der inneren Randlänge der gekrümmten Elektrode beträgt.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung weist das Merkmal auf, daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 20% der Oberfläche der gekrümmten Elektrode beträgt.

Besonders zweckmäßig ist es, die elektrische Halbleiterdiode so auszugestalten, daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 15% der Oberfläche der gekrümmten Elektrode beträgt.

Es ist ferner vorteilhaft, daß die gekrümmte Elektrode eine Oberfläche von höchstens  $15 \mu\text{m}^2$  aufweist.

Die Erfindung sieht ferner vor, eine gattungsgemäße elektrische Schaltung so aufzubauen, daß sie eine Halbleiterdiode enthält, mit zwei Elektroden, die Kathode und Anode bilden, wobei sich die Halbleiterdiode dadurch auszeichnet, daß mindestens eine der Elektroden gekrümmt ist, und daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 20% des Produkts aus der Breite der anderen Elektrode und der inneren Randlänge der gekrümmten Elektrode beträgt.

Zweckmäßigerweise ist eine Halbleiterdiode so ausgestaltet, daß die gekrümmte Elektrode so stark gekrümmt ist, daß die andere Elektrode wenigstens teilweise von der gekrümmten Elektrode umgeben ist. Diese Ausführungsform der Halbleiterdiode bewirkt eine noch weitergehende Verringerung der Kapazität.

Grundsätzlich kann die gekrümmte Elektrode eine beliebige Form aufweisen. Eine besonders geringe Kapazität zwischen der gekrümmten Elektrode und der anderen Elektrode läßt sich zweckmäßigerweise dadurch erreichen, daß die gekrümmte Elektrode Punktsymmetrie aufweist.

Eine sowohl niedrige als auch genau bestimmbare Kapazität läßt sich dadurch erreichen, daß die gekrümmte Elektrode wenigstens abschnittsweise die Form eines Kreisbogens aufweist.

Eine besonders zweckmäßige Ausführungsform der erfindungsgemäßen Halbleiterdiode zeichnet sich dadurch aus, daß die gekrümmte Elektrode Ringform aufweist.

Es ist ferner zweckmäßig, daß die andere Elektrode eine Kreisform aufweist.

Eine sowohl geringe als auch genau definierte Kapazität läßt sich dadurch erreichen, daß die andere Elektrode die Form eines Polygons aufweist. Unter einem Polygon wird hierbei ein Flächengebilde mit mindestens drei Ecken verstanden.

Zur weiteren Verringerung der Kapazität zwischen der gekrümmten Elektrode und der anderen Elektrode ist es zweckmäßig, daß die andere Elektrode im Mittelpunkt der gekrümmten Elektrode angeordnet ist.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Besonderheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen.

Von den Zeichnungen zeigt

**Fig. 1** eine Aufsicht auf eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Halbleiterdiode;

**Fig. 2** eine Aufsicht auf eine bekannte Halbleiterdiode, und

**Fig. 3** eine Aufsicht auf eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Halbleiterdiode.

Die beiden in **Fig. 1** dargestellten Halbleiterdioden sind auf einer in der Zeichnung nicht dargestellten Strukturebene miteinander in Parallelschaltung verbunden.

Hierbei liegt die Kathode **20** im Mittelpunkt der Anode **10**. Die Kathode **20** weist einen Durchmesser  $d_K = 2 r_K$  auf, der der minimalen bei dem Herstellungsprozeß der Halbleiterdiode möglichen Strukturbreite entspricht. Die Kantenlänge einer einzelnen Kathode beträgt  $w_K = 2 \pi r_K$ . Die Kathodenfläche einer einzelnen Halbleiterdiode beträgt  $A_{KK} = \pi r_K^2$ .

Um eine gewünschte Gesamtkantenlänge  $w$  zu erzielen, müssen  $N_K$  einzelne Bauelemente parallel geschaltet werden. Für die Anzahl  $N_K$  der erforderlichen Bauelemente gilt:  $N_K = w/w_K$ .

Es ergibt sich eine Gesamtkathodenfläche:

$$A_{KG} = N_K \times A_{KK} = w \pi r_K^2 / (2 \pi r_K) = w r_K / 2$$

Die Gesamtkathodenfläche  $A_{KG}$  beträgt bei gleicher Gesamtkantenlänge lediglich die Hälfte der Gesamtkathodenfläche  $A_{K1}$  der nachfolgend anhand von **Fig. 2** dargestellten linearen Struktur.

Durch die dargestellte Anordnung wird auch eine vorteilhafte Abschirmung gegenüber äußeren elektromagnetischen Feldern erzielt. Diese Anordnung hat den zusätzlichen Vorteil, daß gleichzeitig eine besonders geringe und genau definierbare Kapazität erzielt wird.

Die anhand von **Fig. 2** dargestellten Halbleiterdioden gehören zum Stand der Technik. Sie weisen eine lineare Struktur auf. Die Gesamtkantenlänge  $w$  setzt sich aus den beiden auf die Anoden **40** und **60** gerichteten Kantenlängen  $w/2$  der Kathode **50** zusammen. Die Gesamtkathodenfläche  $A_{K1}$  beträgt:

$$A_{K1} = 2 r_K \times w/2 = w \times r_K.$$

Aus der in **Fig. 3** dargestellten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Halbleiterdiode wird ersichtlich, daß zwischen der Kathode **130** und der Anode **110** ein schmaler Grenzbereich **120** liegt, dessen Breite vorzugsweise  $0,4 \mu\text{m}$  bis  $1,3 \mu\text{m}$  beträgt. Die Breite des Grenzbereichs **120** legt die maximale Stromstärke zwischen der Kathode **130** und der Anode **110** fest.



	<b>10</b> Anode
	<b>20</b> Kathode
5	<b>40</b> Anode
	<b>50</b> Kathode
	<b>60</b> Anode
	<b>110</b> Anode
	<b>120</b> Grenzbereich
10	<b>130</b> Kathode

## Patentansprüche

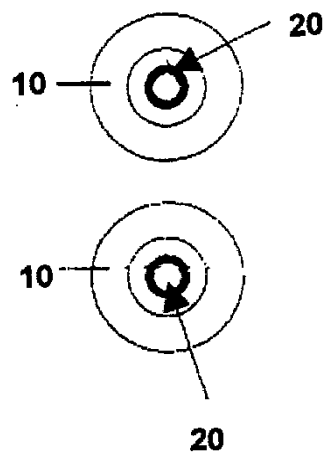
1. Halbleiterdiode mit zwei Elektroden, die Kathode (**20, 130**) und Anode (**10, 110**) bilden, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens eine der Elektroden gekrümmt ist, und daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 20% des Produkts aus der Breite der anderen Elektrode und der inneren Randlänge der gekrümmten Elektrode beträgt.
2. Halbleiterdiode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 15% des Produkts aus der Breite der anderen Elektrode und der inneren Randlänge der gekrümmten Elektrode beträgt.
3. Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 20% der Oberfläche der gekrümmten Elektrode beträgt.
4. Halbleiterdiode nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der anderen Elektrode höchstens 15% der Oberfläche der gekrümmten Elektrode beträgt.
5. Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die gekrümmte Elektrode eine Oberfläche von höchstens  $15 \mu\text{m}^2$  aufweist.
6. Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die gekrümmte Elektrode so stark gekrümmt ist, daß die andere Elektrode wenigstens teilweise von der gekrümmten Elektrode umgeben ist.
7. Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die gekrümmte Elektrode Punktsymmetrie aufweist.
8. Halbleiterdiode nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die gekrümmte Elektrode wenigstens abschnittsweise die Form eines Kreisbogens aufweist.
9. Halbleiterdiode nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die gekrümmte Elektrode Ringform aufweist.
10. Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die andere Elektrode eine Kreisform aufweist.
11. Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die andere Elektrode die Form eines Polygons aufweist.
12. Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die andere Elektrode im Mittelpunkt der gekrümmten Elektrode angeordnet ist.
13. Elektrische Schaltung, dadurch gekennzeichnet, daß sie wenigstens eine Halbleiterdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 12 enthält.

---

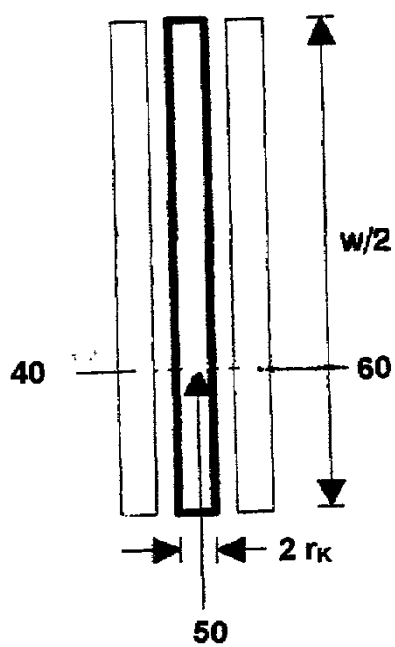
Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

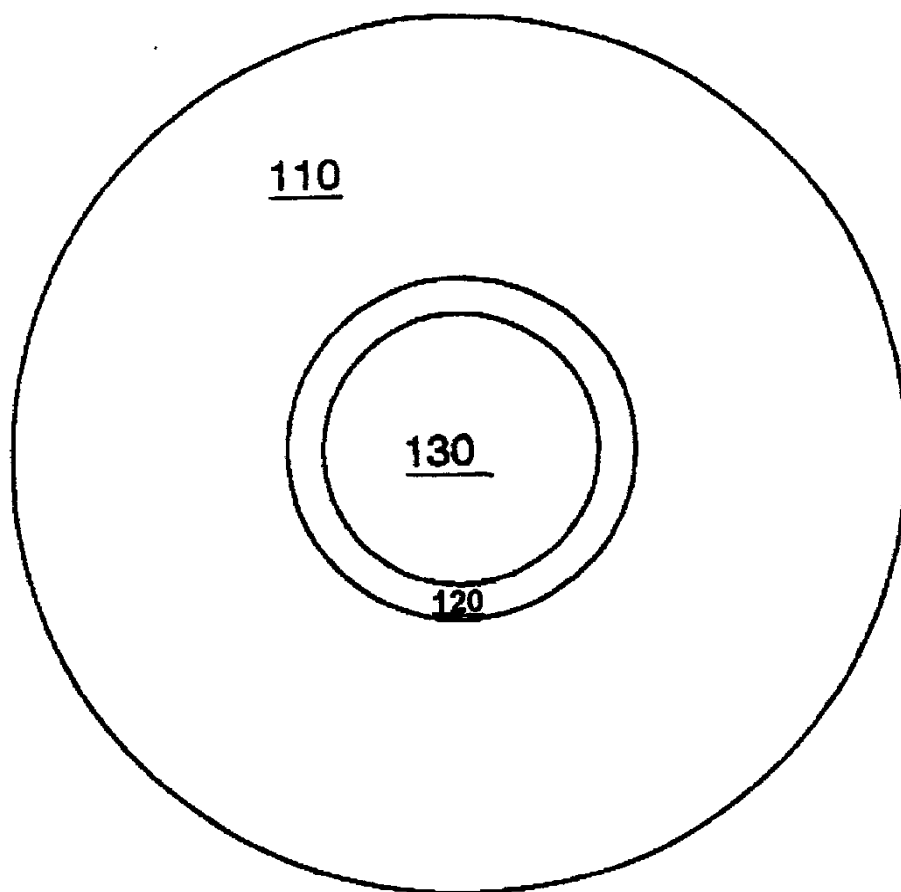




**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**